

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-122192

(43)Date of publication of application : 30.04.1999

(51)Int.Cl.

H04B 10/17

H04B 10/16

H01S 3/10

(21)Application number : 09-285583

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 17.10.1997

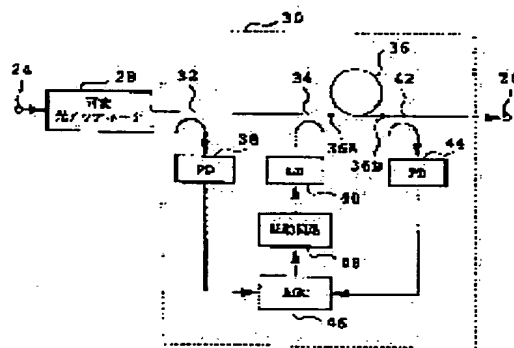
(72)Inventor : KAWASAKI YUMIKO
OKANO SATORU
YAMANE KAZUO
NISHIMOTO HIROSHI
TSUDA TAKASHI

(54) OPTICAL AMPLIFIER AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM PROVIDED WITH THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To hold the optical output levels and the gain characteristics of respective channels of wavelength division multiplex(WDM) signal light to be constant by providing an optical amplification unit and an optical attenuator which variably attenuates WDM signal light.

SOLUTION: A variable light attenuator 28 variably attenuates inputted WDM signal light. The WDM signal light supplied to an optical amplification unit 30 is supplied to an erbium dope fiber(EDF) 36 through an optical coupler 32 and a WDM coupler 34. Pump light outputted from a laser diode(LD) 40 is supplied to EDF 36 through the WDM coupler 34. WDM signal light amplified by EDF 36 is outputted through the optical coupler 42. The output signals of photodetectors 38 and 44 are supplied to an AGC(automatic gain control) circuit 46 and driving current supplied to LD 40 from a driving circuit 48 is controlled based on the input level and the output level of EDF 36.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-122192

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00

J

10/16

H 0 1 S 3/10

Z

H 0 1 S 3/10

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平9-285583

(22) 出願日 平成9年(1997)10月17日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 河崎 由美子

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 岡野 悟

北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地
富士通北海道デジタル・テクノロジー株
式会社内

(74) 代理人 弁理士 松本 昂

最終頁に続く

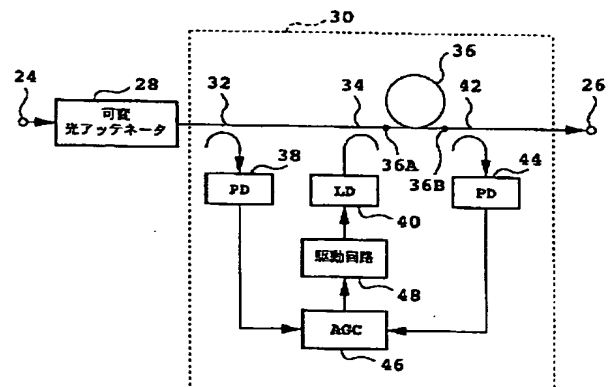
(54) 【発明の名称】 光増幅器及び該光増幅器を備えた光通信システム

(57) 【要約】

【課題】 本発明は光増幅器及び光通信システムに関し、WDM(波長分割多重)信号光の各チャネルの光出力レベルを一定に保つことができ且つ利得特性を一定に保つことができる光増幅器の提供を主な課題としている。

【解決手段】 WDM信号光が供給される光増幅媒体36と、光増幅媒体36をポンピングする手段40と、利得が一定になるようにポンピングする手段を制御する手段46と、WDM信号光に可変の減衰を与える光減衰器28とから構成する。

光増幅器の第1実施形態を示すブロック図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 異なる波長の複数の光信号を波長分割多重 (WDM) して得られた WDM 信号光が供給される光増幅媒体と、

該光増幅媒体が上記 WDM 信号光に利得を与えるように上記光増幅媒体をポンピングする手段と、

上記利得が一定になるように上記光増幅媒体の入力レベル及び出力レベルに基づき上記ポンピングする手段を制御する手段と、

上記光増幅媒体に動作的に接続され上記 WDM 信号光に可変の減衰を与える光減衰器とを備えた光増幅器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、上記光増幅媒体は第 1 端及び第 2 端を有し、上記 WDM 信号光は上記第 1 端に供給され、上記光減衰器の出力ポートは上記第 1 端に動作的に接続される光増幅器。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、上記光増幅媒体は第 1 端及び第 2 端を有し、上記 WDM 信号光は上記第 1 端に供給され、上記光減衰器の入力ポートは上記第 2 端に動作的に接続される光増幅器。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の光増幅器であって、上記光減衰器の出力ポートに動作的に接続される第 2 の光増幅器を更に備え、該第 2 の光増幅器は一定の利得を有している光増幅器。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、上記複数の光信号の各々のレベルが一定になるように上記光減衰器の減衰を制御するためのフィードバックループを更に備えた光増幅器。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の光増幅器であって、上記フィードバックループは、上記光増幅媒体の入力レベル及び出力レベルの少なくとも一方を検出する手段と、上記複数の光信号の数を検出する手段とを含み、それらの検出値に従って上記光減衰器の減衰が制御される光増幅器。

【請求項 7】 請求項 5 に記載の光増幅器であって、該光増幅器の立ち上げに際して上記フィードバックループを動作させ、それ以外のときに上記フィードバックループの動作を停止させる手段を更に備えた光増幅器。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の光増幅器であって、上記光増幅媒体は第 1 端及び第 2 端を有する希土類元素がドープされたドープファイバからなり、上記ポンピングする手段は上記第 1 端及び第 2 端の少なくとも一方からポンプ光を上記ドープファイバに供給するためのポンプ光源を含み、上記制御する手段は上記ポンプ光のパワーを制御する光増幅器。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の光増幅器であって、上記ポンプ光のパワーの目標値は上記利得の波長特性が平坦になるように設定される光増幅器。

【請求項 10】 異なる波長の複数の光信号を波長分割多重 (WDM) して得られた WDM 信号光を伝搬させる

光ファイバ伝送路と、

該光ファイバ伝送路の途中に設けられる少なくとも 1 つの光増幅器とを備え、

該光増幅器の各々は、

上記 WDM 信号光が供給される光増幅媒体と、

該光増幅媒体が上記 WDM 信号光に利得を与えるように上記光増幅媒体をポンピングする手段と、

上記利得が一定になるように上記光増幅媒体の入力レベル及び出力レベルに基づき上記ポンピングする手段を制御する手段と、

上記光増幅媒体に動作的に接続され上記 WDM 信号光に可変の減衰を与える光減衰器とを備えている光通信システム。

【請求項 11】 請求項 10 に記載のシステムであって、

上記光ファイバ伝送路の一端にて上記 WDM 信号光を上記光ファイバ伝送路に供給する第 1 の端局と、

上記光ファイバ伝送路の他端にて上記光ファイバ伝送路からの上記 WDM 信号光を受ける第 2 の端局とを更に備えたシステム。

【請求項 12】 請求項 11 に記載のシステムであって、

上記第 1 の端局は、上記複数の光信号の数に関するデータを含む監視信号を出力する手段を含み、

上記各光増幅器は上記監視信号を受ける手段を更に備えているシステム。

【請求項 13】 請求項 10 に記載のシステムであって、

上記光増幅媒体は第 1 端及び第 2 端を有し、上記 WDM 信号光は上記第 1 端に供給され、上記光減衰器の出力ポートは上記第 1 端に動作的に接続されるシステム。

【請求項 14】 請求項 10 に記載のシステムであって、

上記光増幅媒体は第 1 端及び第 2 端を有し、上記 WDM 信号光は上記第 1 端に供給され、上記光減衰器の入力ポートは上記第 2 端に動作的に接続されるシステム。

【請求項 15】 請求項 14 に記載のシステムであって、

上記各光増幅器は上記光減衰器の出力ポートに動作的に接続される第 2 の光増幅器を更に備えており、該第 2 の光増幅器は一定の利得を有しているシステム。

【請求項 16】 請求項 10 に記載のシステムであって、

上記各光増幅器は上記複数の光信号の各々のレベルが一定になるように上記光減衰器の減衰を制御するためのフィードバックループを更に備えているシステム。

【請求項 17】 請求項 16 に記載のシステムであって、

上記フィードバックループは、上記光増幅媒体の入力レベル及び出力レベルの少なくとも一方を検出する手段

と、上記複数の光信号の数を検出する手段とを含み、それらの検出値に従って上記光減衰器の減衰が制御されるシステム。

【請求項 18】 請求項 16 に記載のシステムであって、
上記各光増幅器は、該光増幅器の立ち上げに際して上記フィードバックループを動作させ、それ以外のときに上記フィードバックループの動作を停止させる手段を更に備えているシステム。

【請求項 19】 請求項 10 に記載のシステムであって、
上記光増幅媒体は第 1 端及び第 2 端を有する希土類元素がドープされたドープファイバからなり、
上記ポンピングする手段は上記第 1 端及び第 2 端の少なくとも一方からポンプ光を上記ドープファイバに供給するためのポンプ光源を含み、
上記制御する手段は上記ポンプ光のパワーを制御するシステム。

【請求項 20】 請求項 19 に記載のシステムであって、
上記ポンプ光のパワーの目標値は上記利得の波長特性が平坦になるように設定されるシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般的に、異なる波長の複数の光信号を用いた波長分割多重 (WDM) に関し、更に詳しくは、WDM に適用される光増幅器及び該光増幅器を備えた光通信システムに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、低損失 (例えば 0.2 dB/km) な光ファイバの製造技術及び使用技術が確立され、光ファイバを伝送路とする光伝送システムが実用化されている。また、光ファイバにおける損失を補償して長距離の伝送を可能にするために、信号光を増幅するための光増幅器が実用化されている。

【0003】従来知られている光増幅器は、増幅されるべき信号光が供給される光増幅媒体と、光増幅媒体が信号光の波長を含む利得帯域を提供するように光増幅媒体をポンピング (励起) する手段とを備えている。例えば、エルビウムドープファイバ増幅器 (EDFA) は、光増幅媒体としてのエルビウムドープファイバ (EDF) と、予め定められた波長を有するポンプ光を EDF に供給するためのポンプ光源とを備えている。 $0.98 \mu\text{m}$ 帯或いは $1.48 \mu\text{m}$ 帯の波長を有するポンプ光を用いることによって、波長 $1.55 \mu\text{m}$ を含む利得帯域が得られる。また、半導体チップを光増幅媒体として用いる光増幅器も知られている。この場合、半導体チップに電流を注入することによってポンピングが行われる。

【0004】一方、光ファイバによる伝送容量を増大させるための技術として、波長分割多重 (WDM) があ

る。WDM が適用されるシステムにおいては、異なる波長を有する複数の光キャリアが用いられる。各光キャリアを独立に変調することによって得られた複数の光信号が光マルチプレクサにより波長分割多重され、その結果得られた WDM 信号光が光ファイバ伝送路に送出される。受信側では、受けた WDM 信号光が光デマルチプレクサによって個々の光信号に分離され、各光信号に基づいて伝送データが再生される。WDM の適用によって、当該多重数に応じて一本の光ファイバにおける伝送容量を増大させることができる。

【0005】従って、光増幅器及び WDM を組み合わせることによって、光伝送システムの長スパン化及び大容量化が可能になる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】WDM が適用されるシステムに光増幅器を組み入れる場合、利得偏差或いは利得傾斜 (ゲインチルト) で代表される利得特性 (利得の波長依存性) によって伝送距離が制限される。例えば、EDFA においては、波長 $1.55 \mu\text{m}$ の近傍で利得偏差が生じる。カスケード接続された複数の EDFA について利得偏差が累積すると、利得が小さい帯域に含まれるチャネルの光 SNR (信号対雑音比) が悪くなる。

【0007】光増幅器の利得特性を一定に保つためには、自動利得制御 (AGC) が有効である。例えば、EDFA においては、光入力レベル及び光出力レベルがモニタリングされ、それらの比又は差が一定になるようにポンプ光のパワーが制御される。制御の目標値を適切な値に設定しておくことによって、平坦な利得特性が維持される。

【0008】しかし、AGC のみを実施する場合、WDM 信号光の各チャネルの光出力レベルが必ずしも一定に保たれない。例えばあるチャネルの光出力レベルが許容範囲を越えて高くなると、光ファイバ伝送路で生じる非線形効果の影響によりそのチャネルの伝送特性が劣化する。このような非線形効果の影響は、特に 10 Gb/s を越える高速伝送を行う場合に顕著である。

【0009】よって、本発明の目的は、WDM 信号光の各チャネルの光出力レベルを一定に保つことができ且つ利得特性を一定に保つことができる光増幅器を提供することにある。

【0010】本発明の他の目的は、そのような光増幅器を備えた新規な光通信システムを提供することにある。本発明の更に他の目的は、以下の説明から明らかになる。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明によると、異なる波長の複数の光信号を波長分割多重 (WDM) して得られた WDM 信号光が供給される光増幅媒体と、該光増幅媒体が上記 WDM 信号光に利得を与えるように上記光増幅媒体をポンピングする手段と、上記利得が一定になる

ように上記光増幅媒体の入力レベル及び出力レベルに基づき上記ポンピングする手段を制御する手段と、上記光増幅媒体に動作的に接続され上記WDM信号光に可変の減衰を与える光減衰器（光アッテネータ）とを備えた光増幅器が提供される。

【0012】この構成によると、光増幅媒体の入力レベル及び出力レベルに基づき利得が一定になるような制御が行われているので、利得特性が一定に保たれ、また、WDM信号光に可変の減衰を与える光減衰器が採用されているので、光減衰器の手動による又は自動的な調節により、WDM信号光の各チャネルの光出力レベルを一定に保つことができるようになる。

【0013】本発明の他の側面によると、WDM信号光を伝搬させる光ファイバ伝送路と、該光ファイバ伝送路の途中に設けられる少なくとも1つの光増幅器とを備えた光通信システムが提供される。光増幅器の各々は、本発明による光増幅器の構成を有する。

【0014】尚、この出願において、ある要素と他の要素とが動作的に接続されるというのは、これらの要素が直接接続される場合を含み、更に、これらの要素の間で電機信号又は光信号の受渡しができる程度の関連性をもってこれらの要素が設けられている場合を含む。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の望ましい実施の形態を詳細に説明する。図1は、本発明による光通信システムの実施形態を示すブロック図である。このシステムは、送信用の第1の端局2と、受信用の第2の端局4と、端局2及び4を結ぶための光ファイバ伝送路6とを備えている。

【0016】第1の端局2は、異なる波長の光信号を出力する複数の光送信機（TX）8（#1, ..., #N）と、これらの光信号を波長分割多重してWDM信号光を得るための光マルチプレクサ10とを備えている。WDM信号光は光ファイバ伝送路6へ供給される。

【0017】光ファイバ伝送路6の途中には、複数の光中継器12が設けられている。光中継器12の各々は、WDM信号光を増幅するためのインライン型の光増幅器14を含む。

【0018】第2の端局4は、光ファイバ伝送路6からのWDM信号光を波長に従って分離して個々のチャネルの光信号を得るための光デマルチプレクサ16と、これらの光信号を受けるための複数の光受信機（RX）18（#1, ..., #N）とを備えている。

【0019】図1のシステム構成によると、波長分割多重が適用されているので、多重数に応じて伝送容量が拡大され、また、各光中継器12がインライン型の光増幅器14を含んでいるので、簡単な構成で光ファイバ伝送路6の長スパン化が可能になる。

【0020】図2は、図1の各光増幅器14として使用可能なエルビウムドープファイバ増幅器（EDFA）の

利得特性（利得の波長依存性）の一例を示す図である。縦軸は利得（dB）、横軸は波長（nm）を表している。

【0021】EDFAにおいては、ポンプ光のパワー或いは励起率（ポンピングレート）が増大していくと、利得特性の平坦性が悪くなっていく。符号20で示されるのは、通常動作時の利得特性であり、比較的良好な平坦性が得られている。これに対して、符号22で示されるのは、ポンプ光パワーを増大したときの利得特性であり、1530nm付近の波長と1540～1560nmの帯域の波長との間で、光出力レベルに差が生じてしまい、その結果、利得偏差が生じる。

【0022】従って、EDFAによりWDM信号光を増幅する場合には、平坦性が良好な符号20で示されるような利得特性を維持することが、レベル差の累積による影響を少なくする上で有効である。

【0023】図3の（A）～（D）は、EDFAにおいて自動出力レベル制御（ALC）のみを行った場合におけるチャネル数減によるスペクトルの変化を示す図である。ALCは、例えば、EDFAの光出力レベルを検出し、その検出値が一定になるようにポンプ光のパワーを制御することで実施し得る。

【0024】図3の（A）に示されるように、一定の入力レベルの4チャネルのWDM信号光がEDFAに入力されているときに、図3の（B）に示されるように1チャネルの光信号が断になりチャネル数が減ると、図3の（C）に示されるような、入力スペクトルに対応した出力スペクトルは、図3の（D）に示されるように変化する。即ち、チャネル数が減ると、ALCによってトータル出力レベルが一定値を維持するようにポンプ光のパワーが高められるので、利得特性が変化する。その結果、チャネル毎の出力レベル間に差が生じると共に、利得の平坦性も維持されない。

【0025】図4の（A）～（D）は、EDFAにおいてALCのみを行った場合における光入力レベルの低下によるスペクトルの変化を示す図である。図4の（A）に示されるように、一定入力レベルの4チャネルのWDM信号光がEDFAに入力されているときに、図4の（B）に示されるように入力レベルが全体的に低下した場合、図4の（C）に示されるような、入力スペクトルに対応する出力スペクトルは、図4の（D）に示されるように変化する。即ち、入力レベルが全体的に低下すると、ALCによってトータル出力レベルが一定に維持されるようにポンプ光のパワーが高められるので、利得特性が変化する。その結果、チャネル毎の出力レベルが変化すると共に、利得の平坦性も維持されない。

【0026】EDFAにおける利得の平坦性の維持は、例えば自動利得制御（AGC）により可能である。AGCでは、EDFAの入力レベル及び出力レベルの比又は差が一定になるようにポンプ光のパワーが制御される。

【0027】図5の(A)～(D)は、EDFAにおいてAGCを行う場合におけるチャンネル数減によるスペクトルの変化を示す図である。図5の(A)に示されるように、入力レベルが一定の4チャンネルのWDM信号光がEDFAに入力されているときに、図5の(B)に示されるように、1チャンネルの光信号が断になりチャンネル数が減ると、図5の(C)に示されるような、入力スペクトルに対応した出力スペクトルは、図5の(D)に示されるように変化する。即ち、断になったチャンネルの光信号のスペクトルが消滅するものの、他のチャンネルはほとんど変化しない。このように、AGCでは、チャンネル数が変化したとしても、各チャンネルの光出力レベルを一定にすることができ、しかも、利得の平坦性も維持される。

【0028】図6の(A)～(D)は、EDFAにおいてAGCを行った場合における光入力レベルの低下によるスペクトルの変化を示す図である。図6の(A)に示されるように、入力レベルが一定の4チャンネルのWDM信号光がEDFAに入力されているときに、図6の(B)に示されるように入力レベルが全体に低下した場合、図6の(C)に示されるような、入力スペクトルに対応する出力スペクトルは、図6の(D)に示されるように変化する。

【0029】入力レベルが全体的に変化した場合には、許容範囲内においてポンピング状態はほとんど変化しないので、利得の平坦性は実質的には維持される。しかし、光出力レベルは入力レベルの変化分だけ全体的に変化してしまい、図1に示されるようなインラインアンプシステムでは、伝送路損失のバラツキがそのまま出力レベルのバラツキとなり、これが累積した場合に、例えば出力レベルが高いチャンネルの伝送特性が非線形効果の影響により劣化することがある。

【0030】以下、図1の各光増幅器14として使用可能な本発明による光増幅器のいくつかの実施形態を説明する。図7は、本発明による光増幅器の第1実施形態を示すブロック図である。入力ポート24と出力ポート26との間には、可変光アッテネータ28と光増幅ユニット30とがこの順で設けられている。光アッテネータ28は、入力ポート24に供給されたWDM信号光に可変の減衰を与えて光増幅ユニット30に供給する。

【0031】光増幅ユニット30に供給されたWDM信号光は、光カプラ32及びWDMカプラ34をこの順に通ってエルビウムドープファイバ(EDF)36にその第1端36Aから供給される。

【0032】光カプラ32では入力レベルをモニタリングするための分岐光が分岐され、分岐光はフォトダイオード等のフォトディテクタ(PD)38により電気信号に変換される。ポンプ光源としてのレーザダイオード(LD)40から出力されたポンプ光は、WDMカプラ34を介してEDF36にその第1端36Aから供給さ

れる。EDF36を用いた波長1.55 μ m帯(例えば1.50 μ m～1.60 μ m)の信号光の増幅には、ポンプ光の波長としては0.98 μ m帯(例えば0.97 μ m～0.99 μ m)或いは1.48 μ m帯(例えば1.47 μ m～1.49 μ m)が適している。

【0033】ポンプ光及びWDM信号光がEDF36に供給されると、誘導放出の原理に従ってWDM信号光は増幅され、増幅されたWDM信号光はEDF36の第2端36Bから出力される。出力されたWDM信号光は、光カプラ42を通して出力ポンプ26から出力される。

【0034】光カプラ42では、出力レベルをモニタリングするためにWDM信号光の一部が分岐され、分岐された光はフォトディテクタ44により電気信号に変換される。フォトディテクタ38及び44の出力信号はAGC(自動利得制御)回路46に供給される。

【0035】AGC回路46は、光増幅媒体としてのEDF36(又は光増幅ユニット30)の入力レベル及び出力レベルに基づき、駆動回路48からレーザダイオード40に供給される駆動電流を制御する。それにより、EDF36の利得又は利得特性が一定に保たれるようにポンプ光のパワーが制御される。

【0036】このように本発明による光増幅器は、AGCが行われる光増幅器ユニット30と可変の減衰を与える光アッテネータ28とを組み合わせているところに特徴を有している。

【0037】図8の(A)に示されるようなインラインアンプシステムにおいて、AGCのみを行った場合における出力レベルの誤差の累積を、図8の(B)に示されるレベルダイヤグラムにより説明する。図8の(A)に示されるように、E/O変換器(光送信機)と、利得 G_0 のポストアンプと、損失 L_0 の光ファイバ伝送路と、利得 G_1 の第1のインラインアンプと、損失 L_1 の光ファイバ伝送路と、利得 G_2 の第2のインラインアンプと、損失 L_2 の光ファイバ伝送路と、利得 G_3 の第3のインラインアンプと、損失 L_3 の光ファイバ伝送路と、利得 G_4 のプリアンプと、O/E変換器(光受信機)とがこの順で設けられている。

【0038】図8の(B)に示されるレベルダイヤグラムにおいて、 P_{OUT} は各アンプの出力レベルの目標値、 P_{in} は各アンプの入力レベルの目標値を示している。インラインアンプの利得 G_1 、 G_2 及び G_3 は一般的には等しく一定値に設定されるので、光ファイバ伝送路の損失のバラツキが出力レベルの誤差となり、これが累積して符号50で示されるようにあるチャンネル或いは全チャンネルの出力レベルが目標値を大きく越えてしまうことがあるのである。

【0039】これに対する本発明による光増幅器を用いた場合の優位性を図9の(A)及び(B)により説明する。図9の(A)に示されるように、各インラインアンプは本発明による光増幅器であるとする。具体的には、

第1、第2及び第3のインラインアンプに内蔵された可変光アッテネータがそれぞれ損失 L_{a1} 、 L_{a2} 及び L_{a3} を与えているものとする。

【0040】各インラインアンプに内蔵された可変光アッテネータにより与えられる損失は、光ファイバ伝送路の区間毎の損失のパラツキがなくなるように設定される。これにより、図9の(B)に示されるように、出力レベルの誤差が累積することが防止され、各インラインアンプにおけるトータル又はチャンネル当たりの光出力レベルを一定に保つことができる。

【0041】このように、図7の光増幅器の第1実施形態によると、可変光アッテネータ28を用いているので、WDM信号光の各チャンネルの光出力レベルを一定に保つことができ、しかも、光増幅ユニット30においてAGCが行われているので、利得特性を一定に保つことができるようになる。特に、レーザダイオード40から出力されるポンプ光のパワーの制御の目標値を、利得の波長特性が平坦になるように設定することによって、チャンネル間の利得偏差をなくすことができ、各チャンネルの伝送特性を向上させることができる。

【0042】図7の第1実施形態においては、光アッテネータ28が光増幅ユニット30の前段側に設けられているので、光増幅ユニット30の動作状況に関係なく光アッテネータ28における減衰の調整を行うことができ、そのため後述するような利得の自動制御を行い易いという利点がある。更には、光増幅ユニット30の後段では、増幅されたWDM信号光は実質的には減衰しないので、所定の光出力レベルを得るためのポンプ光パワーへの負担が小さいという利点もある。

【0043】図10は、本発明による光増幅器の第2実施形態を示すブロック図である。ここでは、図7の第1実施形態と対比して、可変光アッテネータ28及び光増幅ユニット30の接続順序が逆である。即ち、入力ポート24に供給されたWDM信号光は、光増幅ユニット30においてAGCによる増幅を行われた後、可変光アッテネータ28により減衰を与えられて出力ポート26から出力される。

【0044】この実施形態においても、光増幅ユニット30及び可変光アッテネータ28が組み合わされているので、WDM信号光の各チャンネルの光出力レベルを一定に保つことができ、且つ、利得特性を一定に保つことができるようになる。特にこの実施形態では、光増幅ユニット30の前段側においてWDM信号光には実質的に損失が与えられないので、全体としてのSNR（信号対雑音比）の劣化が小さい。

【0045】図11は、本発明による光増幅器の第3実施形態を示すブロック図である。入力ポート24と出力ポート26との間には、第1の光増幅ユニット30（#1）と、可変光アッテネータ28と、第2の光増幅ユニット30（#2）とがこの順で設けられている。光増幅

ユニット30（#1及び#2）の各々は図7の第1実施形態における光増幅ユニット30と同じような構成を有している。

【0046】即ち、即ち増幅ユニット30（#1及び#2）の各々においては、AGCが行われている。このように、各々AGCが行われている2つの光増幅器30（#1及び#2）と可変光アッテネータ28との組み合わせによっても、WDM信号光の各チャンネルの光出力レベルを一定に保つことができ、且つ、利得特性を一定に保つことができるようになる。

【0047】図11の第3実施形態では、2つの光増幅ユニット30（#1及び#2）が必要になるので、図7の第1実施形態又は図10の第2実施形態と対比して構成が若干複雑になるものの、入力部挿入損失増加によるSNRの劣化が小さく、しかも各ポンプ光パワーへの負担も少ないという利点がある。

【0048】光増幅器の第1乃至第3実施形態の各々においては、本発明の目的の1つ又はそれ以上を達成するために、光アッテネータ28がWDM信号光に与える減衰を手動により調節することができる。以下、減衰の自動制御を可能にするためのいくつかの実施形態を説明する。

【0049】図12は、本発明による光増幅器の第4実施形態を示すブロック図である。この実施形態は、図7の第1実施形態と対比して、光増幅ユニット30におけるWDM信号光の各チャンネルの入力レベル又は出力レベルが一定になるように可変光アッテネータ28の減衰を制御するためのフィードバックループを付加的に備えている点で特徴付けられる。

【0050】具体的には、モニタ回路52が、光増幅ユニット30（又はEDF36）の入力レベル及び出力レベルの少なくとも一方並びにWDM信号光のチャンネル数を光増幅ユニット30の内部情報として検出し、当該検出値に従って制御回路54が可変光アッテネータ28の減衰を制御する。

【0051】入力レベル及び出力レベルの少なくとも一方の検出は、図7に示されるフォトディテクタ38及び/又は44の出力信号に基づいて行うことができる。図12の第4実施形態によると、光アッテネータ28の減衰をフィードバックループにより制御しているので、予めWDM信号光の各チャンネルの出力レベルの目標値を設定しておくことによって、各チャンネルの出力レベルをその目標値に自動的に一致させることができる。

【0052】図13は、本発明による光増幅器の第5実施形態を示すブロック図である。ここでは、図1の第1の端局2がWDM信号光のチャンネル数に関するデータを含む監視信号を出力する手段を含むものとする。例えば、光送信機8（#1，…，#N）のうちの1つが監視信号用の光信号を出力する。

【0053】図13の第5実施形態は、図12の第4実

施形態においてWDM信号光のチャンネル数が内部検出されているの対比して、監視信号に基づいてチャンネル数が検出されている点で特徴付けられる。そのために、監視信号を受けるための監視回路56が採用されている。

【0054】入力ポート24と可変光アッテネータ28との間には光カブラ58が設けられており、光カブラ58はWDM信号光の一部を分岐する。分岐された光は、光帯域通過フィルタ60を通過してフォトディテクタ62により電気信号に変換される。フィルタ60は監視信号のための光信号を通過させる。

【0055】フォトディテクタ62からの電気信号は監視回路56に供給される。監視回路56は、受けた監視信号に基づいてWDM信号光のチャンネル数を検出し、その検出値を光アッテネータ28のための制御回路54'に供給する。また、監視回路56では、受けた監視信号が更新され、更新された監視信号はレーザダイオード58により光信号に変換される。その光信号は、光増幅ユニット30と出力ポート26との間に設けられた光カブラ60によってWDM信号光に加えられる。

【0056】光増幅ユニット30（又はEDF36）の光入力レベル及び光出力レベルのうちの一方は、光増幅ユニット30の内部情報としてモニタ回路62により検出され、当該検出値は制御回路54'に供給される。

【0057】制御回路54'は供給された検出値に基づいて光アッテネータ28の減衰を制御する。この実施形態によっても、図12の第4実施形態におけるのと同じようにして、WDM信号光の各チャンネルの出力レベルを自動的に一定に制御することができる。

【0058】以上、第4実施形態及び第5実施形態を図7の第1実施形態と対比して説明したが、第4実施形態及び第5実施形態の各々を第2実施形態又は第3実施形態と組み合わせて自動制御を行うようにしてもよい。

【0059】図14は、本発明による光増幅器の第6実施形態を示すブロック図である。ここでは、光増幅ユニット30のトータルの光入力レベル又は光出力レベルに基づきALC（自動出力レベル制御）が行われている。具体的には次の通りである。

【0060】光カブラ58で分岐されたWDM信号光の一部はスペクトルアナライザ64に供給され、スペクトルアナライザ64の出力信号に基づきモニタ回路66がWDM信号光のチャンネル数を検出する。チャンネル数の検出値は演算回路68に供給される。

【0061】演算回路68では、ALCにおけるチャンネル当たりの参照電圧 V_{ref} をチャンネル数倍して得られる電圧値が算出され、その電圧値がALC回路70に供給される。ALC回路70は、光増幅ユニット30の内部情報として提供されるトータルの光入力レベル又は光出力レベルに比例した電圧レベルが演算回路68により得られた電圧値に等しくなるように可変光アッテネータ28の減衰を制御する。

【0062】光増幅ユニット30におけるトータルの光入力レベル及び出力レベルは図7のフォトディテクタ38及び44の出力信号に基づいて得ることができる。特にこの実施形態では、光増幅器の立ち上げに際してALCのためのフィードバックループを動作させ、それ以外にフィードバックループの動作を停止させるために、スイッチ72及びロック回路74が設けられている。

【0063】スイッチ72は、光増幅器の初期立ち上げ（コールドスタート）に際して又は電源断時の復帰、全チャンネル光入力断後の復帰もしくは伝送路ルート変更に応じた光増幅器の再立ち上げに際してALC回路70により光アッテネータ28の減衰が制御されるようにし、それ以外に際しては、スイッチ72はALC回路70からロック回路74に切り換えて、光アッテネータ28の減衰の直前の目標値がロックされるようにする。

【0064】このようにしているのは、システムの通常運用時には、伝送路損失に変動が生じる虞はないので、通常運用時に常時減衰の制御を行う必要がないからである。

【0065】図15は、本発明による光増幅器の第7実施形態を示すブロック図である。ここでは、モニタ回路66からのWDM信号光のチャンネル数の検出値と光増幅ユニット30のトータルの光入力レベル又は光出力レベルに比例する電圧値とが演算回路68'に供給される。演算回路68'は、供給された電圧値をチャンネル数の検出値で除して得られる平均電圧値を演算し、平均電圧値はALC回路70'に供給される。ALC回路70'は、供給された平均電圧値が1チャンネル当たりの参照電圧値 V_{ref} に等しくなるように、光アッテネータ28の減衰を制御する。参照電圧値 V_{ref} はシステム立ち上げ時に一定値として設定することができる。

【0066】この実施形態によっても、図14の第6実施形態におけるのと同様にして、WDM信号光の各チャンネルの光出力レベルを一定に保つことができる。以上説明した実施形態では、EDF36内を増幅すべきWDM信号光とポンプ光とが同じ向きに伝搬するようにしてフォワードポンピングを行っているが、例えば、図7のWDMカブラ34をEDF36のWDM信号光伝搬方向下流側に設けてWDM信号光及びポンプ光がEDF36内を互いに逆向きに伝搬するようにして、バックワードポンピングを行ってもよい。また、2つのポンプ光源を用いて双方向ポンピングを行うようにしてもよい。

【0067】光増幅媒体としてEDF36が用いられているが、Nd、Yb等の他の希土類元素がドーブされているドーブファイバが光増幅媒体として用いられてもよい。以上説明した全ての実施形態のうち2つ又はそれ以上を組み合わせる本発明を実施してもよい。

【0068】更に、本発明による光増幅器は、図1に示されるようなシステムに適用されることには限定されな

い。例えば、光アッド／ドロップ回路を用いて3つ以上の端局を光ファイバ接続してなるネットワークシステムにも、本発明による光増幅器を適用可能である。

【0069】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、WDM信号光の各チャネルの光出力レベルを一定に保つことができ且つ利得特性を一定に保つことができる光増幅器及び該光増幅器を備えたシステムの提供が可能になるという効果が生じる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明による光通信システムの実施形態を示すブロック図である。

【図2】図2はEDFA（エルビウムドープファイバ増幅器）の利得特性の一例を示す図である。

【図3】図3の（A）～（D）はALC（自動出力レベル制御）におけるチャネル数減によるスペクトルの変化を示す図である。

【図4】図4の（A）～（D）はALCにおける光入力レベルの低下によるスペクトルの変化を示す図である。

【図5】図5の（A）～（D）はAGC（自動利得制御）におけるチャネル数減によるスペクトルの変化を示す図である。

【図6】図6の（A）～（D）はAGCにおける光入力レベルの低下によるスペクトルの変化を示す図である。

【図7】本発明による光増幅器の第1実施形態を示すブロック図である。

【図8】図8の（A）及び（B）はインラインシステムにおいてAGCのみを行った場合における出力レベルの

誤差の累積を説明するための図である。

【図9】図9の（A）及び（B）は本発明による光増幅器の効果を説明するための図である。

【図10】図10は本発明による光増幅器の第2実施形態を示すブロック図である。

【図11】図11は本発明による光増幅器の第3実施形態を示すブロック図である。

【図12】図12は本発明による光増幅器の第4実施形態を示すブロック図である。

【図13】図13は本発明による光増幅器の第5実施形態を示すブロック図である。

【図14】図14は本発明による光増幅器の第6実施形態を示すブロック図である。

【図15】図15は本発明による光増幅器の第7実施形態を示すブロック図である。

【符号の説明】

6 光ファイバ伝送路

12 光中継器

14 光増幅器

24 入力ポート

26 出力ポート

28 可変光アッテネータ

30, 30（＃1）, 30（＃2） 光増幅ユニット

36 EDF（エルビウムドープファイバ）

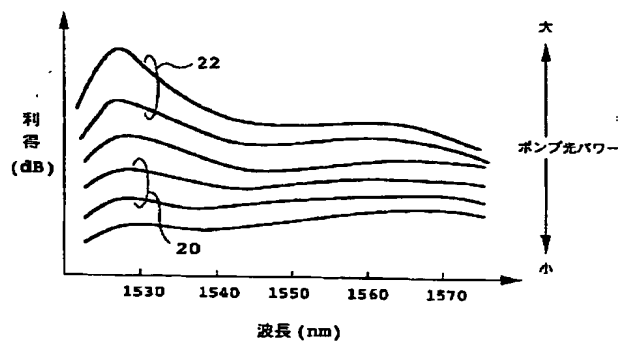
38, 44 フォトディテクタ

40 レーザダイオード

46 AGC回路

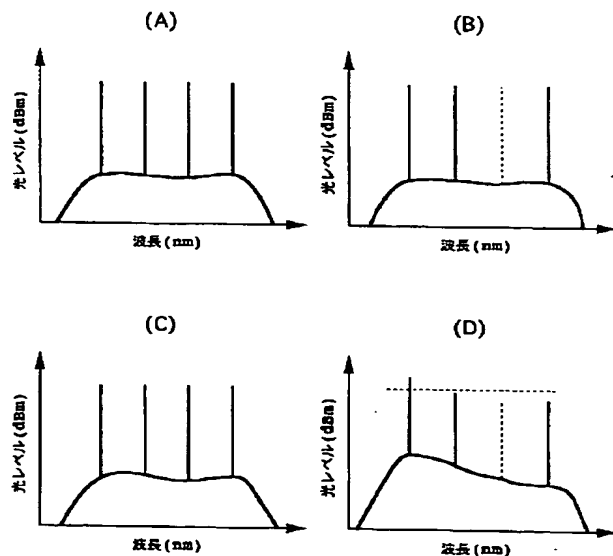
【図2】

EDFAの利得特性の一例を示す図



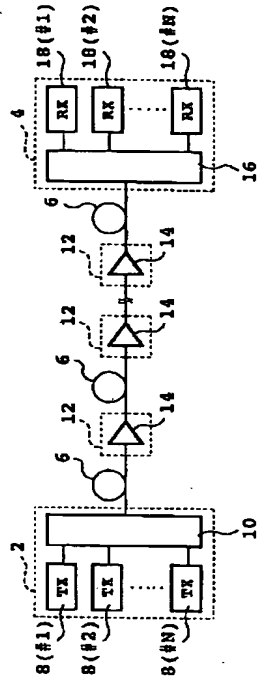
【図3】

ALCにおけるチャネル数減によるスペクトルの変化を示す図



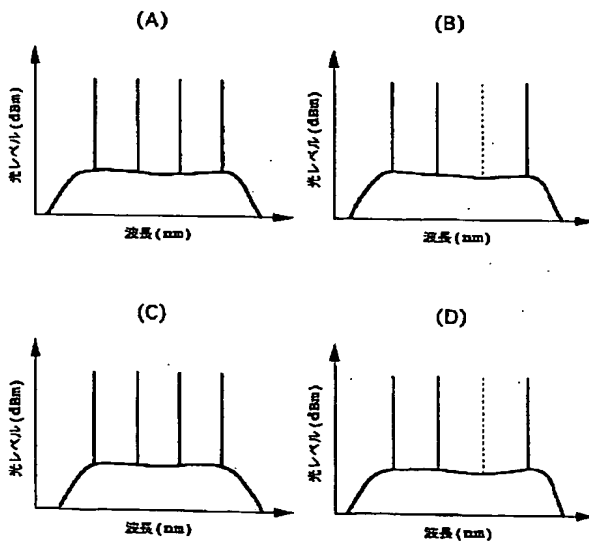
【図 1】

本発明による光通信システムの実施形態を示すブロック図



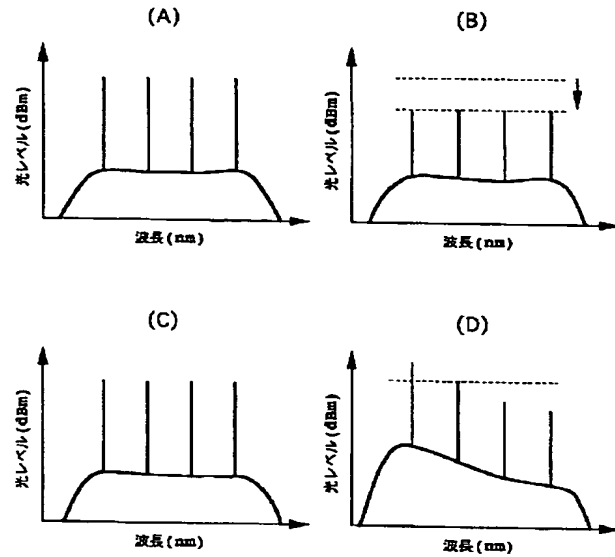
【図 5】

AGCにおけるチャネル数減によるスペクトルの変化を示す図



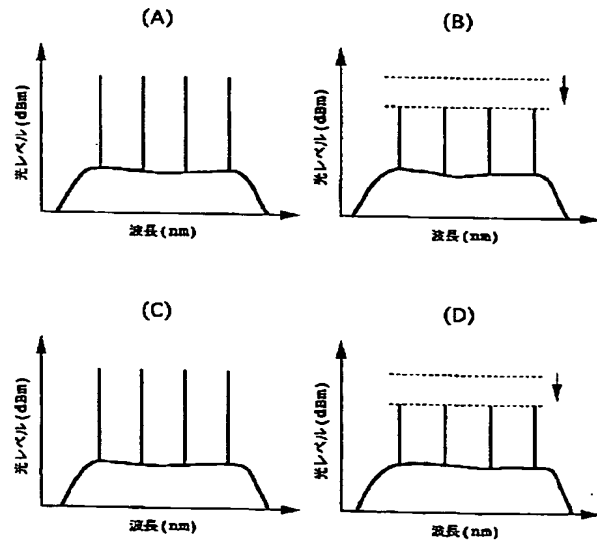
【図 4】

ALCにおける光入力レベルの低下による
スペクトルの変化を示す図



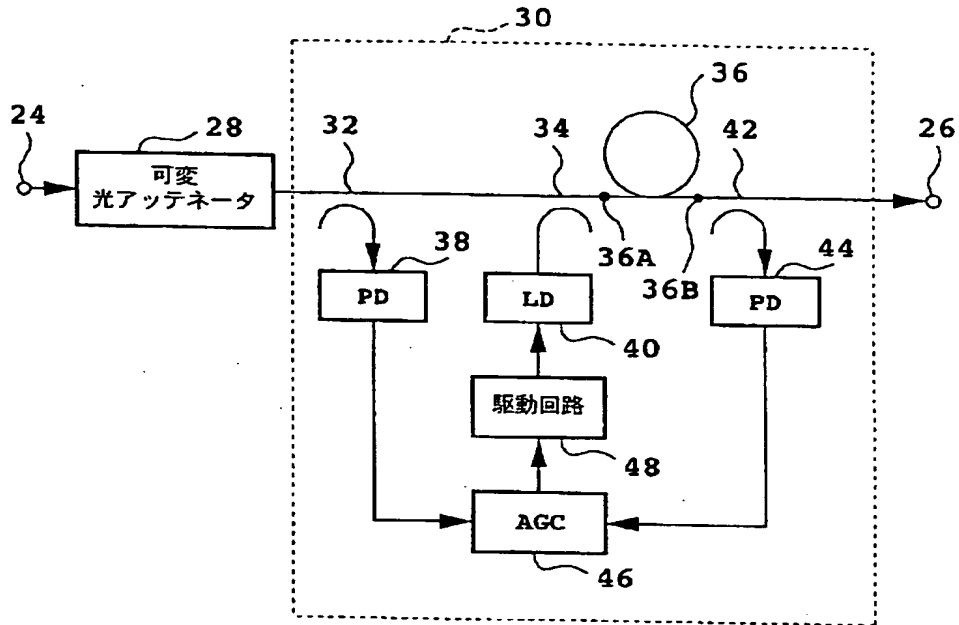
【図 6】

AGCにおける光入力レベルの低下による
スペクトルの変化を示す図



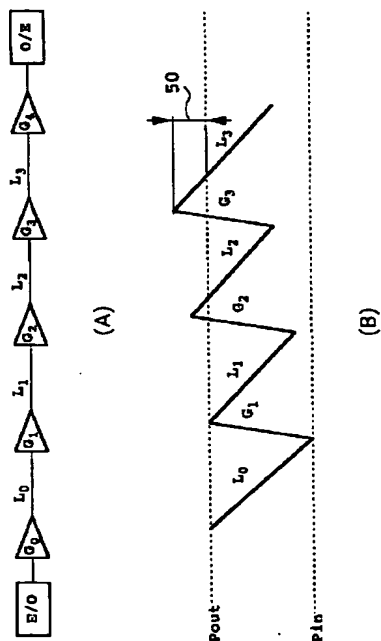
【図7】

光増幅器の第1実施形態を示すブロック図



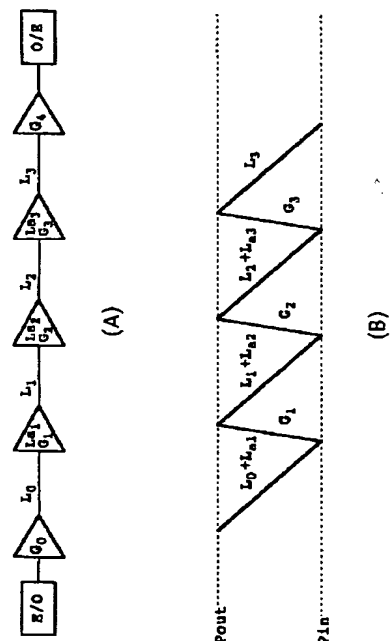
【図8】

インラインアンプシステムにおいてAGCのみを行なった場合における出力レベルの誤差の累積を示す図



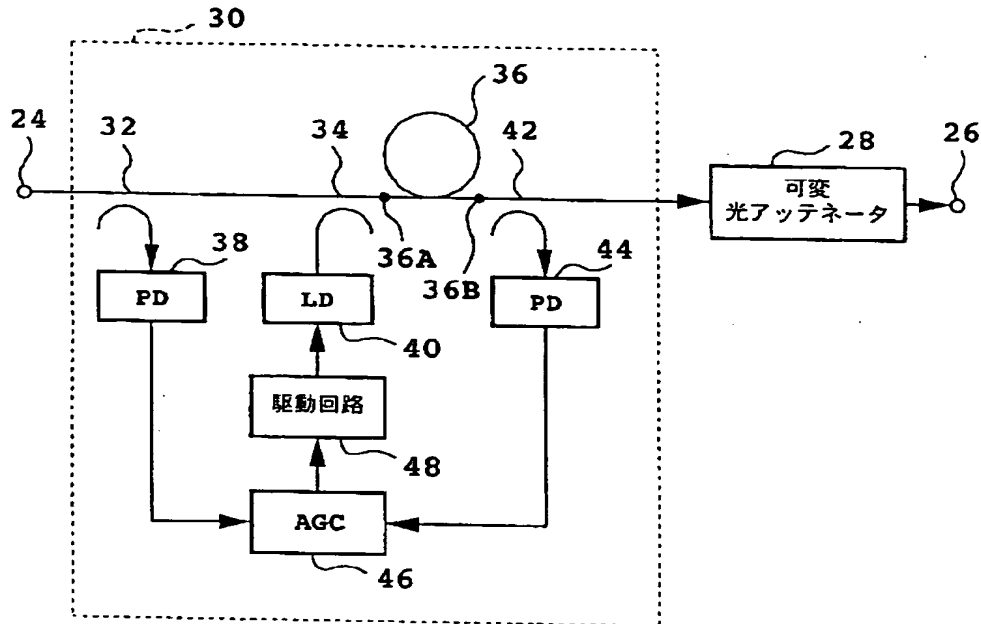
【図9】

本発明による光増幅器の効果を説明するための図



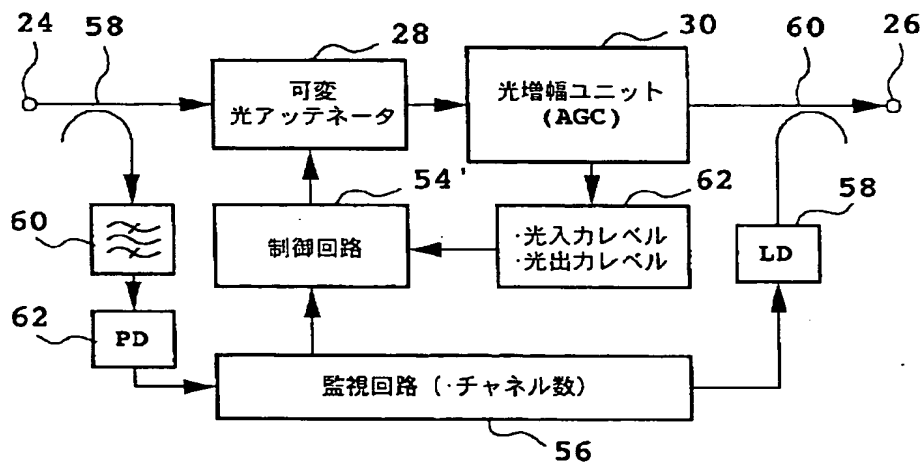
【図10】

光増幅器の第2実施形態を示すブロック図



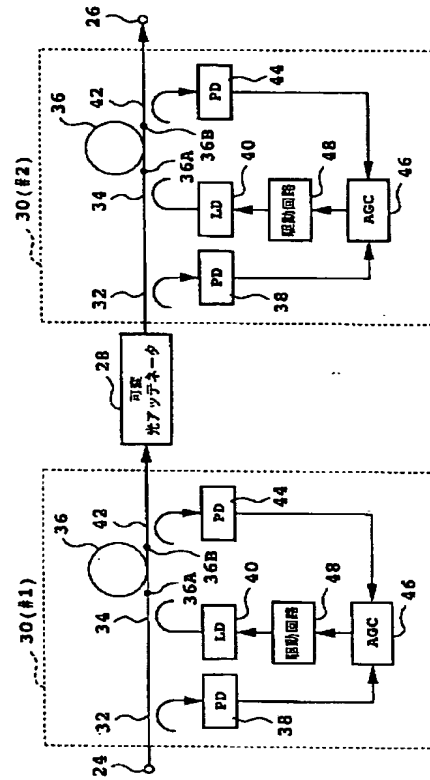
【図13】

光増幅器の第5実施形態を示すブロック図



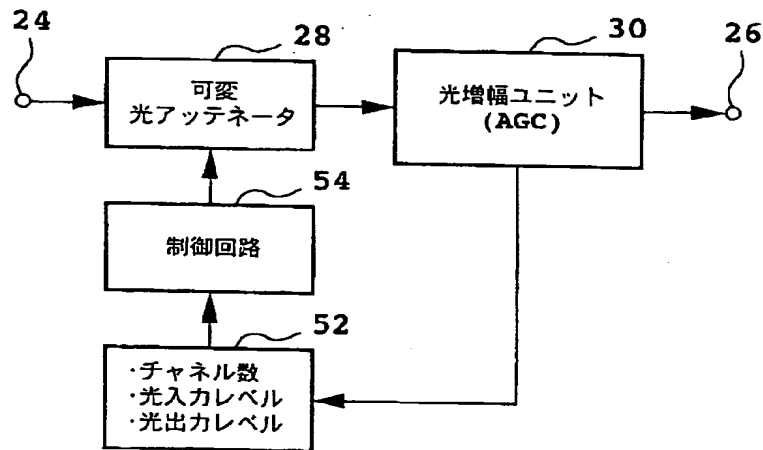
【図11】

光増幅器の第3実施形態を示すブロック図



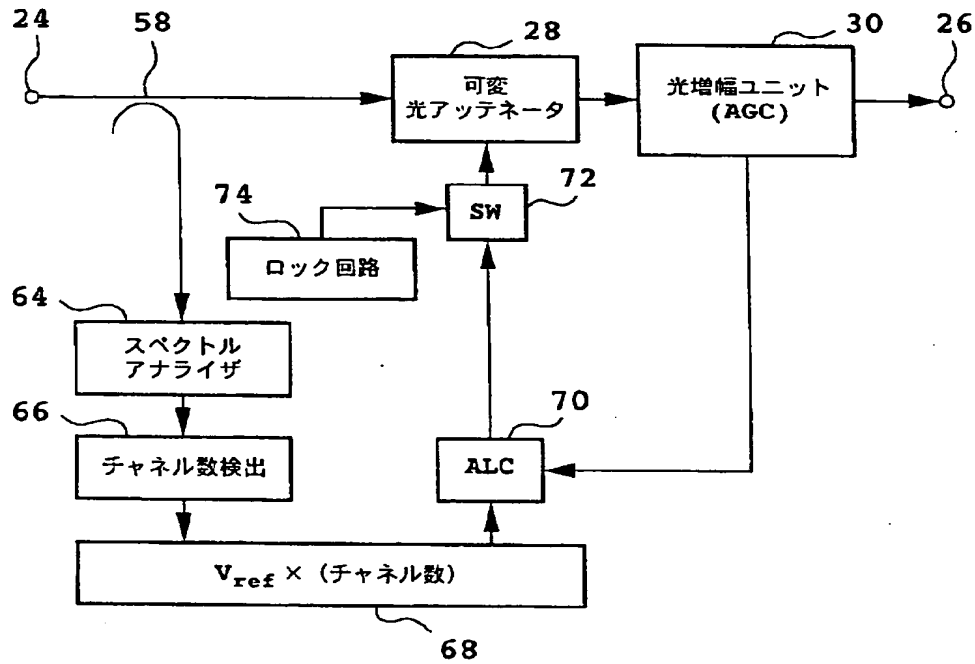
【図 1 2】

光増幅器の第4実施形態を示すブロック図



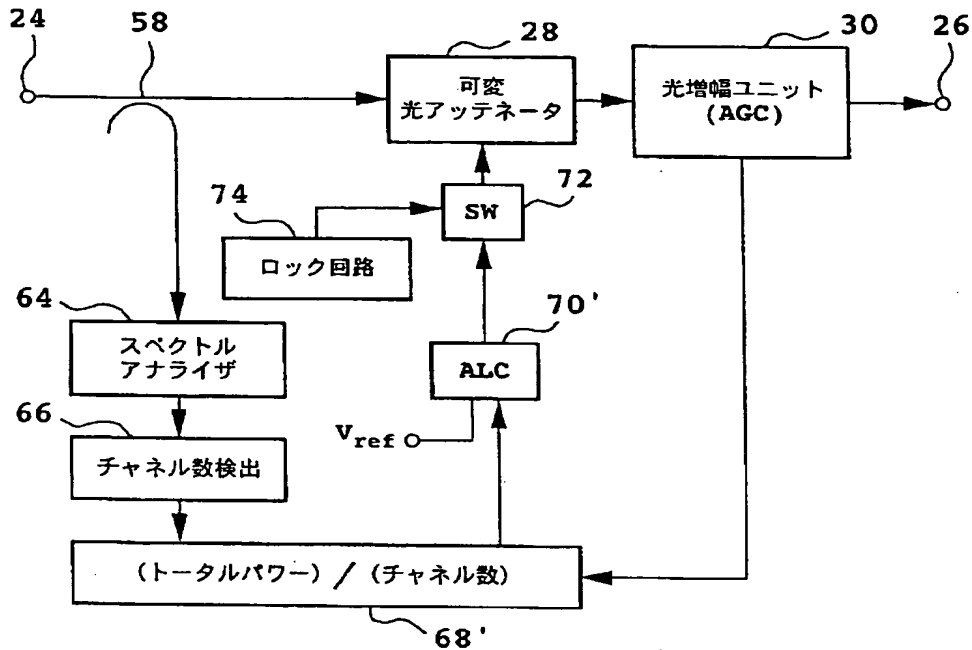
【図14】

光増幅器の第6実施形態を示すブロック図



【図15】

光増幅器の第7実施形態を示すブロック図



フロントページの続き

(72)発明者 山根 一雄
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内

(72)発明者 西本 央
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72)発明者 津田 高至
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内